

# 外部カメラを用いたヒト型ロボットによるサッカー競技 RoboCup SSL Humanoid の提案と現状

升谷 保博 (大阪電通大) 成瀬 正 (愛知県大) 長坂 保典 藤井 隆司 (中部大)  
渡辺 正人 (豊田高専) 光永 法明 (金沢工大) 中川 友紀子 (アールティ) 内藤 理 (東大)

## Proposal and Current Status of RoboCup SSL Humanoid, Soccer Game by Humanoid Robots under External Cameras Environment

\*Yasuhiro Masutani (Osaka Ele.-Comm. Univ.) Tadashi Naruse (Aichi Pref. Univ.)  
Yasunori Nagasaka Takashi Fujii (Chubu Univ.) Masato Watanabe (Toyota Coll. of Tech.)  
Noriaki Mitsunaga (Kanazawa Inst. of Tech.) Yukiko Nakagawa (RT Corp.)  
Osamu Naito (Univ. of Tokyo)

**Abstract**— The authors proposed “RoboCup SSL Humanoid” in 2007, which is a soccer game by autonomous humanoid robots under external cameras environment and was born from the RoboCup SSL (Small Size robot League). Its purposes are to pioneer the research area and to expand the range of participants of RoboCup keeping the distinctive features of the conventional SSL. In this paper, background of the proposal, a method of game, and outline of the 2009 rule are described. Moreover, results of the official competitions in 2009 and the system of Team ODENS, Osaka Ele.-Comm Univ. are reported.

**Key Words:** RoboCup, Humanoid robot, Competition, Global vision

### 1. はじめに

著者らは, RoboCup[1] の小型ロボットリーグ (SSL: Small Size robot League) [2] に参加しているが, その経験を踏まえて, グローバルビジョン (外部カメラ) を用いてヒト型ロボットがサッカー競技を行うリーグを2007年に提案した [3]. この提案は, これまでの小型ロボットリーグの特徴と位置付けを保ちつつ, 新たな研究を展開し, かつ, 参加者の裾野を広げることを目的としている. 現在のところ, 小型ロボットリーグのサブリーグにするべく活動しているので, “SSL Humanoid” と呼んでいる.

本稿では, まず, 背景を踏まえ, 提案する SSL Humanoid について述べる. 次に, 競技の運営方法, 研究課題, ロードマップを記し, 2009年のルールの概説する. 最後に, 2009年の競技会の結果と大阪電気通信大学の ODENS チームの事例について報告する.

### 2. 背景

#### 2.1 RoboCup 小型ロボットリーグとヒューマノイドリーグの現状

RoboCup 小型ロボットリーグにおいては, 車輪型のロボットと天井カメラを用いるサッカー競技の方法がほぼ確立され, 細かな要素技術の性能競争になっている. そのため研究開発の更なる飛躍を図るには, 新たな問題設定が必要とされている. また, 技術レベルの高度化と必要な費用の増大により新規参加が困難になっている.

一方で, RoboCup ヒューマノイドリーグ [4] では, カメラや画像処理を含むコンピュータなど全てをロボットに搭載することが求められており, 技術的・経済的なハードルが高いのが現状である.

#### 2.2 市販のヒト型ホビーロボットの進歩

近年, 小型のヒト型ロボットのキットが比較的安価に市販されるようになり, ホビーとして人気が高まっている. そのようなロボットを使って格闘技やサッカー競技が盛んに行われている. 一部で自律化の試みも行われているが, 現状では人が目視でロボットを操縦する競技がほとんどで, 機構の製作や操縦の楽しみに重きがあるように思われる.

#### 2.3 環境の知能化に向けた要請

人間とロボットの共生を図るために, 人間やロボットが活動する環境側にも視覚センサや聴覚センサ, さらに RF タグを埋め込み, これらの情報を用いてロボットを高度に制御しようという社会的な動きがある [5]. 複数のロボットが動作するのであれば, 各ロボットにセンサを搭載するよりも環境そのものを知能化することが, コスト面でも有利になる可能性が高く, 研究が進められている.

### 3. SSL Humanoid の提案

小型ロボットリーグは, RoboCup の中で唯一外部カメラを利用できるリーグである. この特徴を継承しつつ, 車輪型ロボットをヒト型ロボットに置き換える. これによって, いわゆるアームレースと呼ばれる特定の要素技術の開発に偏りがちな小型ロボットリーグを, 本来の AI 技術や制御技術の研究に回帰させる.

SSL Humanoid では, 小型ロボットリーグと同様に, カメラと画像処理や行動決定を行うコンピュータを外部に置くことを認める. したがって, ヒューマノイドリーグと違い, ロボット本体は市販のロボットキットを使うことができる. さらに, これまで小型ロボットリーグで培われてきた画像処理や無線技術を共通基盤

として使いやすく整備する。これらによって、技術的・経済的な困難を減らすことができ、ヒューマノイドリーグへの参加をあきらめていた層や、ヒト型ロボットをホビーとしていた層にも参加を促し、RoboCup やロボティクスに関わる人の輪を広げる。

提案する競技のシステムは、知能化された環境でヒト型ロボットが活動するシステムの1ケースとして捉えることができる。したがって、ここで開発する技術は、将来サッカー競技以外への応用が期待できる。

#### 4. 競技運営方法

提案するリーグは、小型ロボットリーグのサブリーグとして開始する。初期の段階では、小型ロボットリーグのフィールドの半分を使い、天井カメラやマーカも小型ロボットリーグと共用できるようにする。1チームあたりのロボット数は3~5台とする。ロボットの身長、質量、脚や腕の寸法、足部の寸法や面積の比率によって、形状を規定する。

競技の公平性と参加者に対する敷居を下げるために、天井カメラおよび画像処理装置はリーグ実行委員会が用意する。ロボットの頭頂に取り付けるマーカは指定のもので統一する。用意された共通基盤である画像処理装置の処理結果には、フィールド上の全オブジェクトの位置・姿勢が含まれる。処理結果は、ネットワークを通じて、参加チームのコンピュータへ送られる。技術的ハードルを下げ、混信を防ぐため、フィールド外のコンピュータからロボット本体へ指令を送るための無線装置はリーグで標準化する。なお、これらの共通基盤の整備には、RT ミドルウェアなどの枠組みを用いて、新規参入やノウハウの蓄積を促進する。

一方で、SSL Humanoid には、標準の画像処理装置を利用しないクラスをリーグ内に設ける。高度なグローバルビジョンシステムの研究開発を目指して、4台程度のカメラでフィールドを斜め上方から撮影することを許す。このクラスでは、チームが自前のカメラを設置し、画像処理もチームごとに行う。

#### 5. 研究課題

SSL Humanoid には、大きく分けて二つの研究課題がある。以下にそれぞれについて述べる。

##### 5.1 ローカルビジョンからの解放

ヒト型ロボットにカメラや画像処理装置を全て搭載すると、技術的、重量的、コスト的に困難が大きく、また、視野や解像度や処理速度に限られるため、現状では、ローカルビジョンがロボットの基本能力のボトルネックとなっている。そこで、グローバルビジョンを用いることによって、ローカルビジョンによる制約を受けずに、ヒト型ロボットの研究開発を行うことができる。この目的のために、これまで小型リーグで培われてきた「2次元」「マーカあり」の画像処理の技術やノウハウをモジュール化し参加チームで共有する。これによって、ヒト型ロボットの機構や運動制御、複数エージェントの戦術や戦略の研究に注力できる。また、「環境知能化」の研究の実証実験の場にも資する。

Table 1 Roadmap of SSL Humanoid

2009	Robots with markers Ceiling camera prepared by each team Radio system is not restricted.
2010	One ceiling camera is shared by all teams Standard radio system.
2012	Marker-less class is started.
2015	With-marker class is abolished.

##### 5.2 グローバルビジョンの進化

これまで、小型ロボットリーグで使われてきたグローバルビジョンは、「2次元」「マーカあり」を対象としていた。より実用的なビジョンの問題に進化させるために、ヒト型ロボットを対象とし、「3次元」「マーカなし」の問題に取り組む。従来のように、個々のロボットの識別とその位置と方向の推定だけでなく、姿勢（関節変位）や運動の種類を認識することを目指す。3次元を認識するには、真上からではなく斜めから多くのカメラでフィールドを観察することが望ましく、それらの情報を統合して実時間で3次元の情報を得なければならない。究極の目標は、レフェリーと実況中継まで自動化することである。

#### 6. ロードマップ

Table 1 に SSL Humanoid のロードマップを示す。具体的に年限を決めて、新しい段階へ移行していくことを狙っている。

Fig. 1 に競技形態の発展を示す。2009年は準備段階であり、従来の小型ロボットリーグの技術を転用し、「2次元」「マーカあり」の認識を行う。つまり、ロボットの頭頂部にマーカを取り付け、真上から天井カメラでそれを撮影している。また、天井カメラはチームごとに用意している。それがいくつかの段階を経て2015年頃には最終段階に至り、「3次元」「マーカなし」の認識に基づく競技にすることを目標としている。この段階では、3次元情報を得るために、4台以上のカメラでフィールドを斜め上方から撮影する。また、カメラ映像、あるいは、その処理結果をチーム間で共有する。

#### 7. 2009年のルールの概要

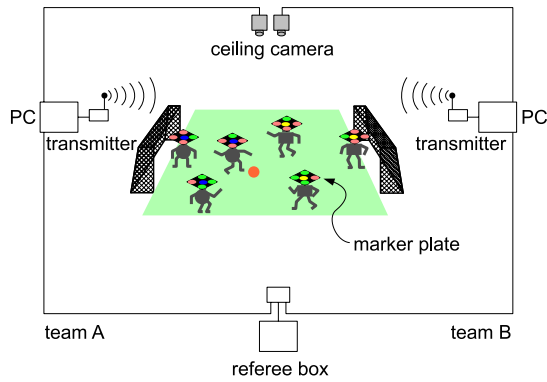
2009年のルールの日本語版および英語版をウェブサイト [3] で公開している。小型ロボットリーグのチームが移行しやすいように、ルールの多くの部分は、小型ロボットリーグと共通にしている。以下に、その概要を述べる。

##### 1. 競技のフィールド

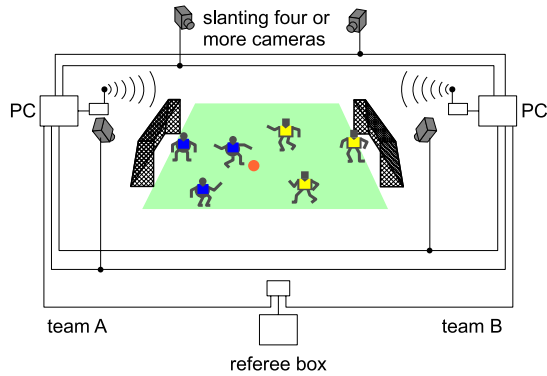
- 4050[mm]×3025[mm]  
(現在の小型ロボットリーグの半面)
- 表面は緑色のカーペット。
- ゴールは、幅 1000[mm]、高さ 600[mm]。

##### 2. ボール

- オレンジ色の硬式テニスボール



(a) Preparation phase (2009)



(b) Final phase (about 2015)

Fig.1 Game style of SSL Humanoid

### 3. ロボットの台数

- 1 チーム 3 台 . 1 台をゴールキーパとする .

### 4. ロボットの装備

- 2 脚 2 腕 , 高さ 200 ~ 400 [mm] , 質量 4 [kg] 以下 .
- 軸数 , 寸法比率に制限あり (ここでは省略) .
- ロボット頭部の上面に 120 [mm] × 120 [mm] のマーカー板を付ける .
- 外部のコンピュータと無線通信可能 .
- 外部カメラ使用可能 .
- 完全自律 . 遠隔操縦禁止 .

### 5. 主審

- 主審を置く .
- 小型ロボットリーグと同じレフェリーボックスを用いて , 両チームに信号を送る .

### 6. 副審

- 計時 , レフェリーボックスの操作 .
- 2 人目を置き , フィールド内での補佐を行わせてもよい .

### 7. 試合時間

- 前半 5 分 , ハーフタイム 5 分以内 , 後半 5 分 .
- タイムアウトは , 4 回以内 , 合計 10 分以内 .

この後に , ファウルやフリーキックなどの規定が続くがここでは省略する . 詳細は [3] を参照されたい .



Fig.2 Scene of RoboCup Japan Open 2009 Osaka

Table 2 Result of RoboCup Japan Open 2009 Osaka

	KIKS	ODENS++	Owaribito-CU	RoboDragons	Point	Rank
KIKS		3-1	4-0	10-0	9	1
ODENS++	1-3		4-0	10-0	6	2
Owaribito-CU	0-4	0-4		10-0	3	3
RoboDragons	0-10	0-10	0-10		0	4

## 8. 2009 年の実績

### 8-1 RoboCup Japan Open 2009 Osaka

2009 年 5 月 8 ~ 10 日に大阪市の京セラドーム大阪において「RoboCup Japan Open 2009 Osaka」が開催された . この大会において , 小型ロボットリーグのサブリーグという位置付けで , SSL Humanoid の公式競技を初めて実施した . 参加したのは , KIKS (豊田工業高等専門学校) , ODENS++ (大阪電気通信大学 , 大阪府立工業高等専門学校) Owaribito-CU (中部大学) , RoboDragons (愛知県立大学) の 4 チームである . 車輪型の小型ロボットリーグの競技と同じフィールドを交代で使い , 各チームともカメラや PC は , 車輪型と共有していた . Fig. 2 に競技の様子を示す . 5 月 8 ~ 9 日に総当たり戦で 6 試合を行った . その結果を Table 2 に示す . また , 5 月 10 日には , 1 位の KIKS と 2 位の ODENS++ がエキシビション試合を行った . この大会では , 初めての試みにも関わらず , 見ごたえのある競技が行われた . そのダイジェストビデオはウェブサイト [3] で公開している .

### 8-2 RoboCup 2009 Graz Austria

2009 年 6 月 29 日 ~ 7 月 5 日にオーストリアのグラーツにおいて「RoboCup 2009 Graz Austria」(世界大会)が開催された . この大会では , デモ競技という位置付けで , SSL Humanoid の競技を実施した . 参加したのは , KIKS (豊田工業高等専門学校) , ODENS (大阪電気通信大学) , Owaribito-CU (中部大学) , RoboDragons (愛知県立大学) の 4 チームである . 小型ロボットリーグの四つのフィールドのうち , 決勝トーナメントで使われないフィールドを使い , 7 月 4 日に総当たり戦で 6 試合を行った . Fig. 3 に競技の様子を示す . 結果を Table 3 に示す . また , 7 月 5 日には , Owaribito-CU と KIKS がエキシビションを 2 試合を行った .



Fig.3 Scene of RoboCup 2009 Graz Austria

Table 3 Result of RoboCup 2009 Graz Austria

	KIKS	ODENS	Owaribito-CU	RoboDragons	Point	Rank
KIKS	-	1-0	0-0	0-1	4	2
ODENS	0-1	-	0-1	1-0	3	4
Owaribito-CU	0-0	1-0	-	0-0	5	1
RoboDragons	0-0	0-1	1-0	-	4	2

## 9. 大阪電通大チームの事例

SSL Humanoid の具体例として、大阪電気通信大学 ODENS チームが RoboCup 2009 に参加した際のシステムを簡単に紹介する。

Fig. 4 にシステムの概要を示す。ヒト型ロボットの頭頂部にはマーカ板が取り付けられている。フィールドの上部には、カメラが鉛直下向きに取り付けられており、ロボットのマーカとボールを撮影する。撮影された映像は、サーバ PC に取り込まれて処理され、ボールと各ロボットのフィールド上での位置と方向が算出される。そのデータはネットワークを介して、各ロボットの行動決定を担当するクライアント PC のプログラムへ送られる。各行動決定プログラムは、得られたデータからロボットのモーションを選択し、その番号を無線でロボットへ送信する。ロボット本体には、あらかじめモーションが登録されており、無線で送られてきた番号に応じたモーションを実行する。以上を繰り返すことによって、自律的にヒト型ロボットにサッカーを行わせる。

ロボット本体は京商の MANOI AT01 を使っている (Fig.5)。シャーシは市販品そのまま、脚の各関節の RC サーボを高トルクな KRS-4013HV と交換している。また、近藤科学の AD バンド (25MHz 帯) の受信機とジャイロセンサ・加速度センサを内蔵している。電池は、標準品ではなく、3 セル 1350mAh のリチウムポリマを使っている。

カメラは、Basler A311fc (658×492pixel, 60fps)、レンズは、TAMRON 12VM412ASIR である。サーバ PC は、EPSON NJ3100 (CPU: Intel Core2Duo P8700 2.53GHz, RAM: 2GB) で、ExpressCard の IEEE1394 インタフェース FWUSB2-E34 を挿しており、OS は Windows XP である。クライアント PC は、Panasonic CF-W7 (CPU: Intel Core2Duo U7700 1.33GHz, RAM: 1GB) と CF-W5 (CPU: Intel Core Solo U1300

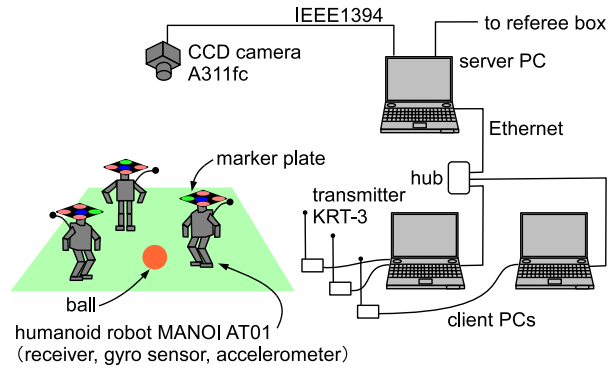


Fig.4 System of Team ODENS

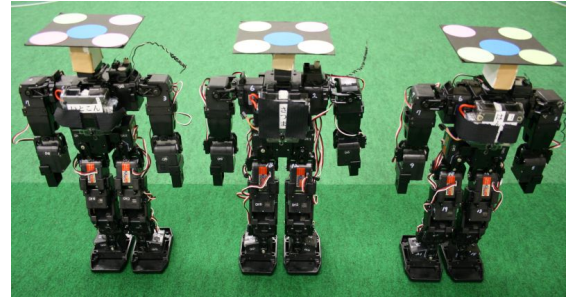


Fig.5 Robots of Team ODENS

1.05GHz, RAM: 512MB) で、OS はどちらも Ubuntu 8.10 である。また、それぞれ AD バンドの送信機を 3 個と 1 個接続している。クライアント PC では、ロボット 1 台ごとに対応するプログラムを別々に動かす。

## 10. おわりに

本稿では、筆者らが提案するロボット競技 SSL Humanoid について述べ、その 2009 年の実績と大阪電通大チームの事例を紹介した。

今後、2010 年から正式な競技として開始できるように、RoboCup Trustee (理事会) に提案書を提出する予定である。また、国内外に対して参加チームを募る。

競技の課題としては、カメラの共用と無線方式の統一が急務である。カメラの共用は、小型ロボットリーグでも計画されており、そのために開発された SSL-Vision[6] が有力候補である。ただし、現段階では IEEE1394 カメラと Linux にしか対応しておらず、やや一般性に欠くことが問題である。無線については、世界大会において Owaribito-CU チームが Zigbee のモジュールを試しており、これが有力候補である。

## 参考文献

- [1] RoboCup:  
<http://www.robocup.org/>
- [2] RoboCup Small Size Robot League:  
<http://small-size.informatik.uni-bremen.de/>
- [3] RoboCup SSL Humanoid:  
<http://robocup-ssl-humanoid.org/>
- [4] RoboCup Humanoid League:  
<http://www.tzi.de/humanoid/>
- [5] 特集「環境知能化」、日本ロボット学会誌, 25, 4, 2007.
- [6] SSL-Vision:  
<http://code.google.com/p/ssl-vision/>